

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Konstrukce ruční úchopné teleskopické tyče s chapadlem

Design of a Handheld Telescopic Pole with a Gripper

Student:

Marek Šostok

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Šostok**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Konstrukce ruční úchopné teleskopické tyče s chapadlem**
Design of a Handheld Telescopic Pole with a Gripper

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte a konstrukčně vyřešte ruční úchopnou teleskopickou tyč s chapadlem pro manipulaci s drobnými předměty.
2. Navrhněte varianty řešení ruční úchopné teleskopické tyče z hlediska kinematické struktury chapadla, kombinace ručního ovládání s vhodnými pohony a možností uchopování objektů manipulace s různým tvarem, popř. navrhněte výměnná chapadla pro různé objekty manipulace.
3. Vybrané koncepční řešení rozpracujte do úrovně detailního 3D modelu a podkladů pro výrobu.
4. Práci doplňte podrobnou technickou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Lung-Wen Tsai *Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators*. New York : John Wiley & Sons, 1999. 520 pp. ISBN 0-471-32593-7
2. Skařupa, J. – Mostýn, V. *Teorie průmyslových robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2000. 146 s. ISBN 80-88922-35-6.
3. Skařupa, J. – Mostýn, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr.Ing. Vladimír Mostýn**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

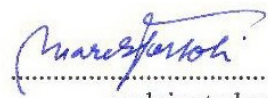


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísečné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě 20. 5. 2013


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2013


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Šostok

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Jiřinky 357, 735 53 Dolní Lutyně

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠOSTOK, M. *Konstrukce ruční úchopné teleskopické tyče s chapadlem: Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2013, 63 s. Vedoucí práce: Mostýn, V.

Bakalářská práce se zabývá návrhem úchopné teleskopické manipulační tyče s chapadlem. V úvodu práce je provedena rešerše dostupných manipulačních prostředků na trhu a analýza objektů, ze které vyplývají požadavky kladené na návrh efektoru. Po zhodnocení aktuální situace jsou na základě požadavkového listu navrženy varianty řešení. Pomocí hodnotové analýzy je vybrána optimální varianta, která je dále podrobně rozpracována. Vybrané koncepční řešení je doplněno výkresovou dokumentací, 3D modelem vytvořeným v softwaru PTC Creo Parametric, výpočty a ekonomicky zhodnoceno.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SOSTOK, M. *Design of a Handheld Telescopic Pole with a Gripper: Bachelor Thesis.* Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2013, 63 p. Thesis head: Mostyn, V.

Bachelor thesis deals with the design of a handheld telescopic manipulation pole with a gripper. In the introduction the research of available manipulation tools on market and the analysis of objects from which the requirements for the design of a gripper follow are carried out. After the evaluation of actual situation the solutions according to requirements are designed. Using the value analysis the optimal solution is chosen and then is elaborated. The selected conceptual solution is supplemented with drawings, 3D model created in PTC Creo Parametric software, computations and economically evaluated.

Obsah

Seznam použitého značení	8
Úvod	10
1 Dostupné ruční prostředky pro manipulaci s předměty	11
1.1 Podavače	11
1.2 Teleskopické manipulační tyče	12
1.3 Shrnutí a zhodnocení	20
2 Objekty manipulace	21
2.1 Závěr analýzy	22
3 Požadavky na konstrukci	23
4 Varianty řešení	24
4.1 Varianta A	24
4.2 Varianta B	26
4.3 Varianta C	28
5 Výběr optimální varianty	30
5.1 Závěr hodnotové analýzy	34
6 Konstrukce manipulační tyče	35
6.1 Použité materiály	37
6.2 Elektronika a řízení	38
6.3 Efektor	46
6.4 Ekonomické zhodnocení	49
7 Výpočty	50
7.1 Stanovení potřebné uchopovací síly	50
7.2 Návrh pohonu	52
7.2 Zpětný výpočet parametrů	53
7.4 Kontrolní výpočet čepu	54
8 Závěr	56
9 Seznam použitých zdrojů	57
10 Seznam příloh	62

Seznam použitého značení

Symbol	Význam	Jednotka
f	Součinitel tření	[-]
F_G	Tíhová síla	[N]
F_{N1}	Normálová síla	[N]
F_{N2}	Normálová síla	[N]
F_T	Síla v ose táhla po volbě pohonu	[N]
F_T'	Potřebná síla v ose táhla	[N]
F_{T1}	Třecí síla	[N]
F_{T2}	Třecí síla	[N]
F_U	Uchopovací síla po volbě pohonu	[N]
F_U'	Potřebná uchopovací síla	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
i_F	Převodový poměr	[-]
k	Koeficient bezpečnosti	[-]
m_{OM}	Hmotnost objektu manipulace	[kg]
M_{Pa}	Krouticí moment na pastorku po volbě pohonu	[N.m]
M_{Pa}'	Potřebný krouticí moment na pastorku	[N.m]
$M_{Př}$	Krouticí moment z převodovky po volbě pohonu	[N.m]
$M_{Př}'$	Potřebný krouticí moment z převodovky	[N.m]
M_U	Moment při uchopení OM po volbě pohonu	[N.m]
M_U'	Moment potřebný k uchopení OM	[N.m]
r_{Pa}	Poloměr pastorku	[m]

x	Vzdálenost síly F_T od bodu A	[m]
y	Vzdálenost síly F_U od bodu A	[m]
$\eta_{\text{PaHř}}$	Účinnost pastorku a hřebenu	[-]

Úvod

Nedílnou součástí většiny činností je manipulace s předměty, během níž je často nutné čelit různým omezením a překážkám. Může se jednat o běžné situace, kdy nelze na daný předmět dosáhnout nebo o omezení zdravotní, kdy se manipulace může značně zkomplikovat. Dle výsledků šetření Českého statistického úřadu za rok 2007 je v České republice více než 550 tisíc tělesně handicapovaných osob, podle statistiky k roku 2011 tvoří senioři (65 let a více) 15,5 % populace [5, 6]. Za překážku lze také považovat manipulaci s předměty, kdy je přímý kontakt z určitých důvodů nežádoucí, anebo dokonce nemožný z důvodu zaručení bezpečnosti. Ve všech těchto situacích nalézají své uplatnění ruční manipulační prostředky, mimo jiné také pomáhají zvyšovat kvalitu života osobám se zdravotním omezením. Ačkoliv jsou v dnešní době stále častěji nasazovány servisní roboty, za situace kdy není jejich použití vysloveně nutné, mohou tyto prostředky posloužit jako řešení, které má řadu nesporných výhod. Mezi ně patří především jednoduchost manipulace a náklady na pořízení takového prostředku oproti servisnímu robotu.

Cílem bakalářské práce je navrhnout vhodné konstrukční řešení úchopné teleskopické tyče s efektem, který bude přizpůsobitelný pro objekty různých tvarů a vlastností. Navrhovaná řešení jsou konstruována s důrazem na ergonomii a výrobní náklady tak, aby se optimální řešení stalo co nejvíce finančně dostupným a uživatelsky přívětivým. Bakalářská práce popisuje současnou nabídku dostupných ručních manipulačních prostředků, poté následuje analýza objektů manipulace, od které se odvíjí požadavky kladené na návrh efektoru a uchopovacích ploch čelistí. Po zhodnocení aktuální situace přichází na řadu návrh variant konstrukčního řešení, volba optimální varianty pomocí hodnotové analýzy a její podrobné rozpracování. Vybraná varianta je doložena výkresovou dokumentací a 3D modelem vytvořeným v softwaru PTC Creo Parametric. V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky.

1 Dostupné ruční prostředky pro manipulaci s předměty

Náplní této kapitoly je rešerše současného stavu a konstrukčních řešení dostupných ručních prostředků pro manipulaci. Na základě získaných poznatků bude možno stanovit mezeru na trhu a směr, kterým se bude ubírat návrh řešení, aby ji vyplnil.

1.1 Podavače

Podavače jsou jednoduše řešené ruční manipulační prostředky, které nalézají využití zejména v domácnosti a ve zdravotnictví jako kompenzační pomůcky pro manipulaci s běžnými předměty denní potřeby u osob se zdravotním omezením. Dále jsou podavače často používány pro pouliční sběr odpadků. V konstrukci se uplatňují především lehké a levné materiály, jakými jsou slitiny hliníku a plasty.



Obr. 1-1 Jednočelist'ové podavače [33]

Skládají se ze tří částí, kterými jsou chapadlo, tyč a rukojeť. Chapadlo může být jednočelist'ové, anebo dvoučelist'ové, v některých případech navíc i otočné. Vylepšeními jsou háček pro snadnější manipulaci např. s oblečením, a magnet implantovaný v čelistech chapadla nebo v rukojeti. Tyče podavačů mohou být pevné délky, teleskopické, anebo složitelné. Výhodou složitelných a teleskopických tyčí je kompaktnost. Teleskopické tyče navíc umožňují nastavení požadované délky. Nedostatkem konstrukčního řešení podavačů je absence předloketní opěrky, jako je tomu

např. u francouzských berlí, která by bezpochyby usnadňovala manipulaci s těžšími předměty. Ne všechny podavače disponují aretací čelistí. Délky nabízených podavačů se pohybují v rozmezí 60-120 cm a ceny v řádu stokorun.



Obr. 1-2 Teleskopický dvoučelistový podavač [34]



Obr. 1-3 Podavač s gumovými přísavkami [35]

1.2 Teleskopické manipulační tyče

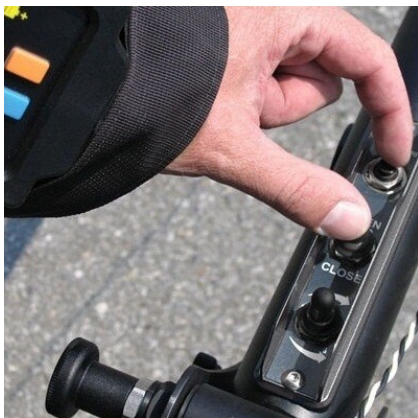
Teleskopické manipulační tyče (anglický termín: EOD telescopic manipulator) se uplatňují především jako výbava pyrotechniků spolu s ochranným oděvem pro odstupnou manipulaci s výbušnými či jinak nebezpečnými předměty. Pomocí řady příslušenství je lze přizpůsobit pro dané použití. Mezi nejčastěji používané příslušenství patří ramenní popruh a podpora s dvěma - bipod, popř. třemi koly - tripod. Někteří výrobci nabízejí také ochranný štít, výměnné nástavce, infračervenou kameru včetně displaye pro manipulaci za snížené viditelnosti a svítidlo. Následuje přehled výrobců.

Allen-Vanguard

Firma Allen-Vanguard má zastoupení v USA, Kanadě a Velké Británii a specializuje se na výrobu ochranného a bezpečnostního vybavení. Kromě teleskopické manipulační tyče TM600 nalezneme v jejím sortimentu ochranné oblečení, helmy, průzkumné roboty a detekční přístroje. Teleskopická tyč je vyrobena z uhlíkových vláken a hliníkové slitiny. Nastavení délky se provádí manuálně vysunutím jedné části z druhé. Maximální dosah, vzdálenost mezi operátorem a efektozem, je 3 m. Dva pohony umožňují efektozu vykonávat úchop/rozevření a rotaci v rozsahu 360°. Jako zdroj napájení slouží baterie velikosti D, které zároveň slouží jako část hmotnosti protizávaží. Výrobce uvádí, že hmotnost protizávaží lze měnit podle potřeby. Uchopovací plochy čelistí jsou měnitelné a opatřené protiskluzovou úpravou. Spolu s tyčí jsou dodávány dva typy – ploché a zalomené. Mezi další dodávané příslušenství patří ramenní popruh, odnímatelná dvoukolová podpora s koly a kufr pro přenos. Technické údaje zaslané výrobcem jsou uvedeny v Tab. 1-1 [7].



Obr. 1-4 Allen-Vanguard TM600 [7]



Obr. 1-5 Ovládací panel TM-600 [7]



Obr. 1-6 Efektor TM-600 [7]

Přepočet hodnot v Tab. 1-1 dle angloamerické měrné soustavy:

1 lb (libra) = 0,45359237 kg, 1 ft (stopa) = 0,3048 m

Přepočet ceny dle kurzu České národní banky ze dne 18. 3. 2013: 1 USD = 19,814 CZK

Parametr	Hodnota
Max. nosnost	15 lbs \cong 6,8 kg
Max. dosah	9,8 ft \cong 3 m
Min. dosah	4,9 ft \cong 1,5 m
Délka tyče při plném vysunutí	15 ft \cong 4,6 m
Max. uchopovací síla	40 lbs \cong 18 kg
Celková hmotnost	29 lbs \cong 13 kg
Cena	5 000 USD = 99 070 CZK

Tab. 1-1 Technické parametry Allen-Vanguard TM600 [7]

Chemring EOD

Firma Chemring EOD sídlí ve Velké Británii a v jejím sortimentu lze nalézt manipulační tyč RE 4500 EODM. Teleskopická tyč má obdélníkový průřez a je vyrobena ze slitiny hliníku. Skládá se z hlavní tyče o délce 1,5 m a z šesti prodlužovacích segmentů o délce 0,5 m, které umožňují maximální prodloužení až na 4,5 m. Efektor pohání dva 12V DC motory (úchop/rozevření čelistí, rotace) a je ovládán pomocí tříosého joysticku. Nastavení sklonu efektoru se provádí manuálně. Součástí ovládacího panelu je mimo jiné

ukazatel síly stisku. Dodávaným zdrojem napájení jsou buď olověné gelové, anebo NiCd akumulátory. Hmotnost protizávaží je regulovatelná pomocí ocelových kotoučů. Mezi příslušenství patří ochranný štít, ramenní popruh, bipod s kolečky, xenonová vodotěsná svítidla a transportní kufr, který pojme veškeré příslušenství. Na Obr. 1-7 nese manipulační tyč hasicí přístroj o hmotnosti 10,5 kg. Díky možnosti nastavení požadované výšky bipodu je možná manipulace v nízkých prostorech, viz Obr. 1-9. Technické parametry udávané výrobcem jsou uvedeny v Tab. 1-2 [8].



Obr. 1-7 Chemring EOD RE 4500 EODM [8]



Obr. 1-8 Efektor RE 4500 EODM [8]



Obr. 1-9 Manipulace pod automobilem [8]

Parametr	Hodnota
Max. nosnost	16,5 kg
Max. nosnost při plném vysunutí	10 kg
Délka tyče při plném vysunutí	4,5 m
Max. rozevření čelistí	160 mm
Max. uchopovací síla	30 kg
Celková hmotnost	45 kg

Tab. 1-2 Technické parametry Chemring EOD RE 4500 EODM [8]

Force Ware

V sortimentu německé firmy Force Ware, která se stejně jako Allen Vanguard specializuje na výrobu a distribuci ochranného a bezpečnostního vybavení, nalezneme teleskopickou manipulační tyč TMS-2. Je tvořena osmi dílčími částmi, které jsou vyrobeny z uhlíkových vláken. Požadovaná délka se nastavuje manuálně vysunutím jedné části z druhé. Maximální dosah tyče je 3 m. Operátor pomocí ovládacího panelu řídí úchop/rozevření a rotaci v rozsahu 360°. Efektor umožňuje nastavení sklonu od vertikální až po horizontální polohu. Nastavení se provádí manuálně pomocí zajišťovacích šroubů. Manipulační tyč je dodávána spolu s ochranným štítem, ramenním popruhem a kufrem pro přenos. Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 1-3 [9].



Obr. 1-10 Force Ware TMS-2 [9]

Parametr	Hodnota
Max. nosnost	7,5 kg
Max. dosah	3 m
Max. rozevření čelistí efektoru	200 mm
Max. uchopovací síla	15 kg
Celková hmotnost	11,7 kg
Celková délka	5 m
Hmotnost protizávaží	5,3 kg

Tab. 1-3 Technické parametry Force Ware TMS-2 [9]

PKI Electronic Intelligence

Manipulační tyč vyrábí německá firma PKI Electronic Intelligence. Teleskopická tyč je tvořena osmi dílčími částmi, které jsou vzájemně spojeny zajišťovacími objímkami. Dílčí části včetně efektoru jsou vyrobeny z hliníkové slitiny 6082. Maximální dosah je 3 m. Efektor vykonává úchop/rozevření, rotaci v rozsahu 360° a umožňuje nastavení sklonu, které se provádí manuálně pomocí zajišťovacích šroubů. Zdrojem napájení je NiMH 12V akumulátor s kapacitou 3Ah. Dodávaným příslušenstvím je ramenní popruh. Technické parametry udávané výrobcem jsou uvedeny v Tab. 1-4 [10].



Obr. 1-11 PKI Electronic Intelligence [10]

Přepočet ceny dle kurzu České národní banky ze dne 18. 3. 2013: 1 EUR = 25,620 CZK

Parametr	Hodnota
Max. nosnost	15 kg
Max. dosah	3 m
Celková hmotnost tyče	14 kg
Max. rozevření čelistí efektoru	200 mm
Cena	7 800 EUR = 199 836 CZK

Tab. 1-4 Technické parametry PKI Electronic Intelligence [10]

Hewei

Manipulační tyč čínského výrobce Hewei je složena ze čtyř dílčích částí, které jsou spojeny zajišťovacími objímkami. Délka prodloužení je odvislá od délky dílčí tyče, prodloužení tedy není plně stavitelné v celém svém rozsahu. Akumulátor umístěný na konci tyče slouží zároveň jako protizávaží. Efektor je otočný a jeho nastavení se provádí manuálně. Čelisti umožňují výměnu uchopovacích ploch a spolu s tyčí jsou dodávány tři typy. Mezi další dodávané příslušenství patří tripod, jehož výška je stavitelná a kolečka umožňují zajištění proti pohybu, ramenní popruh a infračervená kamera spolu s displayem, která umožňuje operovat za snížené viditelnosti. Technické údaje poskytované výrobcem jsou uvedeny v Tab. 1-5 [11].



Obr. 1-12 Hewei [11]



Obr. 1-13 Hewei [11]

Přepočet ceny dle kurzu České národní banky ze dne 18. 3. 2013: 1 USD = 19,814 CZK

Parametr	Hodnota
Max. nosnost	10 kg
Hmotnost tyče	10 kg
Celková délka	4,2 m
Výdrž při nepřetržitém provozu	5 hodin
Cena	3 500 USD = 69 349 CZK

Tab. 1-5 Technické parametry Hewei [11]

Ostatní teleskopické manipulační tyče

Tato sekce obsahuje obrázky manipulačních tyčí, u kterých nebylo možné dohledat výrobce a zaručit důvěryhodnost poskytovaných informací. Na Obr. 1-16 jsou manipulační tyče, které používají pyrotechnické zásahové jednotky České republiky.



Obr. 1-14 Manipulační tyč [36]



Obr. 1-15 Manipulační tyč [37]



Obr. 1-16 Manipulační tyč [38]

1.3 Shrnutí a zhodnocení

Na základě informací získaných rešerší dané problematiky lze říci následující. Nabídka trhu v oblasti ručních manipulačních prostředků lze rozdělit do dvou kategorií. První kategorii zastupují jednoduše řešené podavače. Jedná se primárně o jednoruční manipulační prostředky, které slouží především pro běžnou servisní činnost a jsou díky své příznivé ceně dostupné pro širokou veřejnost. Na českém trhu je k dostání celá řada variant, ale vzhledem k jednoduchosti konstrukce je podkapitola 1.1 pojata obecně a poskytuje celkový přehled.

Druhou kategorii zastupují teleskopické manipulační tyče, které nalézají uplatnění v servisních činnostech odborného charakteru. Využívány jsou zejména pyrotechnickými zásahovými jednotkami pro odstupnou manipulaci s nebezpečnými předměty. Výrobci manipulačních tyčí není mnoho, mezi renomované patří především firma Allen Vanguard. Na výrobu teleskopických tyčí a čelistí efektorů jsou používány materiály, jako je uhlíkové vlákno a hliníkové slitiny pro jejich nízkou hmotnost a dobré pevnostní parametry. Nastavení délky teleskopické tyče se provádí ve všech případech manuálně a to buď vysouváním z těla hlavní tyče a zajištěním proti pohybu, anebo pomocí dílčích prodlužovacích tyčí, které jsou vzájemně spojeny objímkami. U většiny případů se maximální dosah, tedy vzdálenost mezi operátorem a efektozem, pohybuje okolo hranice 3 m. Maximální nosnost se pohybuje v rozmezí od 6,8-16,5 kg. Jako zdroj napájení slouží baterie nebo akumulátory, které jsou umístěny na opačném konci tyče tak, aby působily současně jako protizávaží a usnadňovaly manipulaci. Efektory vykonávají úchop/rozevření a rotaci. U manipulačních tyčí Allen-Vanguard, Chemring EOD, Force Ware a PKI jsou oba pohyby realizovány pomocí pohonů, v případě Hewei se natočení efektoru provádí manuálně. Chemring EOD, Force Ware, PKI a manipulační tyč na Obr. 1-13 umožňují nastavení sklonu efektoru.

Po shrnutí aktuální situace se nabízí možnost čerpat ze získaných poznatků a zároveň aplikovat nápady nové, které současný trh nenabízí. U jednoručních manipulačních prostředků nebyl nalezen takový, jehož efektor by byl poháněn jinak, než manuálně. Žádný z podavačů neumožňuje výměnu uchopovacích ploch pro zlepšení manipulace s objekty různých tvarů a vlastností. Nedostatkem je také absence předloketní opěrky, která by jistě přispěla ke zlepšení manipulačních vlastností. Za nevýhodu u teleskopických manipulačních tyčí lze považovat nutnost přerušování manipulace v případě potřeby změnit

délku. Zde se nabízí možnost aplikovat pohon, který by se staral o vysouvání tyče, a práce s ní by se stala pružnější. Na úkor toho by se však zvýšila hmotnost a možná poruchovost. Jako úchopná část slouží ve všech případech samotná teleskopická tyč. Výhodou tohoto řešení je možnost využití páky v případě manipulace s těžšími předměty. Řešení, které by umožňovalo obouruční úchop podobně jako je to u křovinořezů, by mohlo vézt ke zvýšení přesnosti během manipulace a také ke zvýšení pružnosti práce, neboť by každá ruka mohla nezávisle ovládat pohyby efektoru, popř. vysouvání tyče.

2 Objekty manipulace

Analýza objektů manipulace je nezbytným krokem pro návrh efektoru a uchopovacích ploch. Na základě požadavků na konstrukci, viz Tab. 3-1, se analýza zabývá menšími předměty denní potřeby do hmotnosti 1 kg. Předměty jsou rozděleny dle pěti kritérií.

Prvním kritériem, a také tím nejpodstatnějším, je tvar objektu. Pro popis jsou předměty zobecněny na základní geometrická tělesa. V domácnosti se vyskytují předměty tvaru válce a kužele (hrnek, PET láhev, psací potřeby), kvádrů a krychle (mobilní telefon, kniha, kostka cukru), koule a půlkoule (jablko, miska), předměty kruhového tvaru (talíř, CD) a předměty obecného tvaru. Dalšími vyskytujícími se tvary jsou ovoid a elipsoid (vejce, citrón), které jsou vzhledem k požadované univerzálnosti navrhovaného efektoru a uchopovacích ploch zjednodušeny na tvar koule.

Druhým kritériem je umístění ploch, za které jsou předměty uchopovány. V případě plných těles se plochy nachází na vnější straně. Jedná se o nejčastější případ. U dutých těles (sklenice, hrnek, miska) se navíc nabízí plochy vnitřní. Mohou nastat situace, kdy rozměry předmětu nebo jiné skutečnosti neumožňují úchop za vnější plochy. Pokud by zároveň předmět měl dutý otvor, který by svými rozměry umožňoval vniknutí efektoru, mohlo by s ním být i v tomto případě bez problémů manipulováno.

Třetím kritériem je chování předmětu během manipulace. Snadná a přesná je manipulace s předměty, které jsou tuhé a zároveň kompaktní. Komplikovanější je manipulace s poddajnými předměty, např. oblečení, in-ear sluchátka a list papíru. Běžnou situací je pád listu papíru na podlahu a jeho uchopení je často problematické

i za normálních, nijak nestižených podmínek. Zvláště jedná-li se o hladkou plochu jako např. parketová podlaha.

Čtvrtým kritériem je reakce na přítomnost magnetu. Použitím magnetu se výrazně zjednoduší manipulace s feromagnetickými předměty, jako jsou např. klíče, některé mince a přístroje, anebo s předměty, které mají alespoň feromagnetické části. Magnet však musí být odnímatelný, protože v případě manipulace s elektronikou hrozí její poškození.

Pátým kritériem je manipulace s křehkými a snadno poškoditelnými předměty. Užitím nepřiměřené síly stisku hrozí jejich poškození či dokonce zničení, přesto je však nutné pevné uchopení. Mezi tyto předměty patří např. vejce a kostka měkkého syru.

2.1 Závěr analýzy

Většina předmětů je uchopitelná dvoučelistovým chapadlem. V rámci požadované univerzálnosti bude navržen dvoučelistový efektor s výměnnými nástavci, které přispějí k usnadnění manipulace. Ve výsledku dojde také ke zvýšení bezpečnosti, neboť dotykové plochy budou přizpůsobeny danému tvaru a vlastnostem předmětu, čímž se výrazně sníží riziko jeho uvolnění a poškození.

3 Požadavky na konstrukci

Na základě zadání bakalářské práce a konzultací s vedoucím práce panem prof. Dr. Ing. Vladimírem Mostýnem byly stanoveny následující požadavky na konstrukční řešení manipulační tyče.

Požadavkový list	
Maximální nosnost	1 kg
Maximální délka	2 m
Objekt manipulace	Menší předměty různého tvaru
Zdroj napájení	Baterie/akumulátor
Pohyby efektoru	Úchop/rozevření, rotace
Provedení	Jednoruční
Jiné	Důraz na ergonomii pro osoby se sníženou pohyblivostí
	Minimalizace hmotnosti a ceny

Tab. 3-1 Požadavkový list

4 Varianty řešení

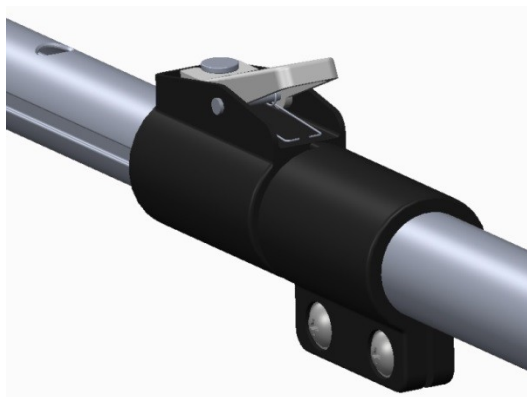
Tato kapitola se zabývá návrhem vhodných variant manipulační tyče. Každá varianta je popsána spolu s uvedením výhod a nevýhod daného řešení. Variantnímu řešení podléhají pouze prvky, které nejvýrazněji ovlivňují celkovou ergonomii a manipulační vlastnosti – úchop, vysouvání teleskopické tyče a její tvarování. Při návrhu byl kladen důraz především na jednoduchost, díky které se minimalizuje jak hmotnost, tak i výrobní náklady. Efektor a jeho nosná část je popsána v kapitole 6.

4.1 Varianta A

Teleskopická tyč varianty A je tvořena ze dvou přímých trubek, na které jsou připevněny ostatní komponenty. Předloketní opěrka je stavitelná do tří poloh, nastavení se provádí zatažením za kolík s pružinou, čímž dojde k jeho vysunutí z otvoru v těle tyče. Součástí opěrky je stahovací popruh, který zajistí spojení s rukou operátora. Rukojeť je tvořena dvěma skořepinami a jsou v ní zasazeny spínače pro ovládání pohybu efektoru a LED svítilny. Pomocí objímky a dvou šroubů je spojena s tělem tyče. Šrouby současně vymezují možnou délku zasunutí výsuvné části. Systém vysouvání je přichycen na tělo tyče svěrným spojením. Nastavení požadované délky se provádí stiskem páčky, která vysune zajišťovací kolík z otvoru ve výsuvné tyči a dojde k jejímu uvolnění. Pod páčkou je umístěna zkrutná pružina, která ji spolu s kolíkem vrací do původní polohy a zajišťuje aretaci. Tyč je opatřena vedením, aby nedocházelo k nadměrnému zatěžování kolíku. Tím se zabránilo rotaci okolo své osy. Délka kroku vysunutí je 75 mm a na tyči je 7 stavitelných poloh.



Obr. 4-1 Varianta A



Obr. 4-2 Systém vysouvání varianty A

Výhody

- Tuhost konstrukce
- Přirozený úchop
- Hmotnost
- Rychlý a pohodlný systém vysouvání
- Stavitelná předloketní opěrka

Nevýhody

- Nutnost úpravy tyče – vedení, děrování

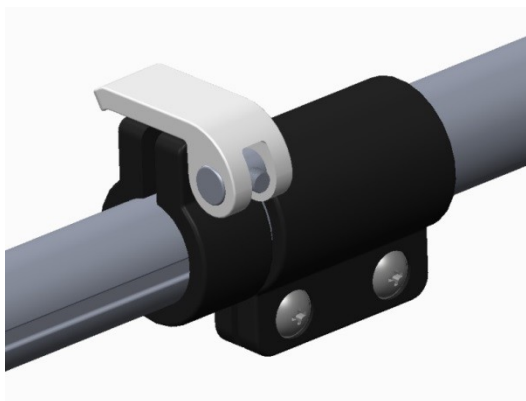
Parametr	Hodnota
Hmotnost	890 g
Celková délka ve složeném stavu	1070 mm
Celková délka při plném vysunutí	1520 mm

Tab. 4-1 Parametry Varianty A

4.2 Varianta B

Předloketní opěrka je oproti variantě A snížena kvůli řešení rukojeti, která je tvořena dvěma skořepinami umístěnými přímo na tělo tyče. Teleskopická tyč je tvořena dvěma přímými trubkami. Pohyby efektoru jsou ovládány skrze spínače, které jsou umístěny na rukojeti. Systém vysouvání je tvořen dvojicí svěrných spojů. Prvním je připojen k tělu tyče a druhým je fixována požadovaná délka vysunutí. Toto řešení umožňuje využití plného rozsahu vysunutí. Odtazením páčky dojde k uvolnění spoje. Tyč je opatřena vedením, které zabraňuje protáčení. Parametry varianty B jsou uvedeny v Tab. 4-2.

*Obr. 4-3 Varianta B*



Obr. 4-4 Systém vysouvání varianty B

Výhody

- Tuhost konstrukce
- Hmotnost
- Rychlé systém vysouvání
- Stavitelná předloketní opěrka

Nevýhody

- Nutnost úpravy tyče – vedení
- Nepřirozený úchop

Parametr	Hodnota
Hmotnost	970 g
Celková délka ve složeném stavu	1165 mm
Celková délka při plném vysunutí	1715 mm

Tab. 4-2 Parametry Varianty B

4.3 Varianta C

Tělo teleskopické tyče je tvořeno ohnutou trubkou, ke které je přichycena rukojeť. Toto řešení bylo zvoleno proto, aby byla zaručena tuhost konstrukce. V případě, kdy by tělo tyče bylo pouze vsazeno do přední části rukojeti, by docházelo k jejímu nadměrnému zatěžování. Řešení by vedlo také ke zhoršení manipulačních vlastností. Použitá rukojeť je tvarována tak, aby objímala zakřivení těla a je tvořena dvěma skořepinami. Předloketní opěrka je tvarově shodná s variantou A, ale není stavitelná. Výsuvná tyč je fixována v požadované poloze pomocí matice a kuželu se závitem, při utažení dojde k sevření. Využitelný je plný rozsah vysunutí. Tato varianta nedisponuje vedením, umožňuje tedy rotaci okolo své osy. Parametry varianty C jsou uvedeny v Tab. 4-3.



Obr. 4-5 Varianta C



Obr. 4-6 Systém vysouvání varianty C

Výhody

- Tuhost konstrukce
- Přirozený úchop
- Jednoduchost konstrukce

Nevýhody

- Nutnost úpravy tyče – ohyb
- Hmotnost
- Nestavitelná předloketní opěrka
- Systém vysouvání

Parametr	Hodnota
Hmotnost	1370 g
Celková délka ve složeném stavu	1230 mm
Celková délka při plném vysunutí	1800 mm

Tab. 4-3 Parametry Varianty C

5 Výběr optimální varianty

V následující kapitole je proveden výběr optimální varianty řešení pomocí hodnotové analýzy. Hodnotová analýza je nástrojem pro nalezení optimální varianty podle souboru definovaných kritérií hodnocení, které jsou stanoveny v Tab. 5-1. Navržené varianty jsou hodnoceny podle kritérií a hodnoceny dle stupnice bodování, viz Tab. 5-2, 5-3. Pro určení významnosti kritérií je použita metoda porovnávání v trojúhelníku párů.

Metoda spočívá v porovnávání jednotlivých kritérií mezi sebou a z každé porovnávané dvojice se určí to významnější pro danou situaci. Významnější kritérium nabývá hodnoty 1. Pokud jsou kritéria považována za stejně důležitá, každé z nich nabývá hodnoty 0,5. Metoda porovnávání v trojúhelníku páru je v daném případě provedena třemi hodnotícími v Tab. 5-4, 5-5 a 5-6. Na základě výsledků je stanovena váha významnosti q jednotlivých kritérií, viz Tab. 5-7. Následuje celkový součet vážených indexů u každé z variant, Tab. 5-8, 5-9, 5-10, a stanovení vítězné varianty, která bude dále rozpracována, viz Graf 5-1 [12].

Označení kritéria	Název kritéria	Charakteristika kritéria
K1	Ergonomie	Uživatelská přívětivost, přirozenost úchopu
K2	Hmotnost	Minimalizace hmotnosti
K3	Složitost konstrukce	Množství použitých dílů, náročnost montáže
K4	Výrobní náklady	Náklady na výrobu a nákup komponentů
K5	Transportní rozměry	Délka tyče ve složeném stavu

Tab. 5-1 Kritéria hodnocení

Úroveň	Hodnota
Vysoká	10
Dobrá	8
Průměrná	6
Nízká	4
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	0

Tab. 5-2 Stupnice bodování kritérií

Označení kritéria	Název kritéria	Varianty		
		A	B	C
K1	Ergonomie	10	4	6
K2	Hmotnost	8	6	4
K3	Složitost konstrukce	6	6	8
K4	Výrobní náklady	6	6	8
K5	Transportní rozměry	10	6	4
Celkový počet bodů:		40	28	30

Tab. 5-3 Hodnocení jednotlivých kritérií

Významnější kritérium je zvýrazněno tučně.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	3	1. – 2.
K2	K3	K4	K5	-	-
	K2	K2	K2	2,5	3.
	K3	K4	K5	-	-
		K3	K3	0,5	5.
		K4	K5	-	-
			K4	1	4.
			K5	3	1. – 2.
Vypracoval:			Marek Šostok		

Tab. 5-4 Metoda porovnávání v trojúhelníku párů

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	3	1. – 2. – 3.
K2	K3	K4	K5	-	
	K2	K2	K2	3	1. – 2. – 3.
	K3	K4	K5	-	
		K3	K3	0	5.
		K4	K5	-	
			K4	3	1. – 2. – 3.
	K5		1	4.	
Vypracoval:			Jan Menzl		

Tab. 5-5 Metoda porovnávání v trojúhelníku párů

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	2,5	2. – 3.
K2	K3	K4	K5	-	-
	K2	K2	K2	3,5	1.
	K3	K4	K5	-	-
		K3	K3	0,5	5.
		K4	K5	-	-
			K4	1	4.
			K5	2,5	2. – 3.
Vypracoval:			Petr Pobucký		

Tab. 5-6 Metoda porovnávání v trojúhelníku párů

Váha významnosti q je určena podle vzorce:

$$q = \frac{\sum(v)i}{p}$$

Příklad výpočtu váhy významnosti q pro kritérium K1

$$q_1 = \frac{\sum(v_1)i}{p} = \frac{8,5}{3} = 2,83$$

$(v_1)i$ – součet počtů voleb K1 jednotlivými hodnotícími, p – počet hodnotících

Kritérium	Váha významnosti q
K1	2,83
K2	3
K3	0,33
K4	1,66
K5	2,16

Tab. 5-7 Váha významnosti jednotlivých kritérií

Varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti q	Vážený index kritéria
K1	10	2,83	28,3
K2	8	3	24
K3	6	0,33	1,98
K4	6	1,66	9,96
K5	10	2,16	21,6
Celkový součet vážených indexů varianty A:			85,84

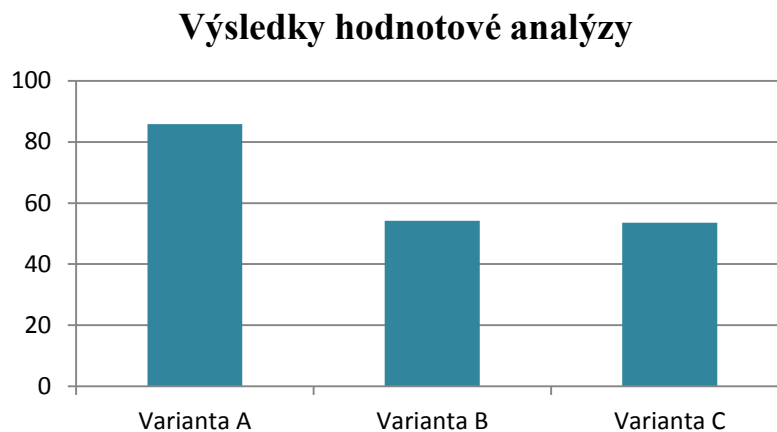
Tab. 5-8 Vyhodnocení varianty A

Varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti q	Vážený index kritéria
K1	4	2,83	11,32
K2	6	3	18
K3	6	0,33	1,98
K4	6	1,66	9,96
K5	6	2,16	12,96
Celkový součet vážených indexů varianty B:			54,22

Tab. 5-9 Vyhodnocení varianty B

Varianta C			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti q	Vážený index kritéria
K1	6	2,83	16,98
K2	4	3	12
K3	8	0,33	2,64
K4	8	1,66	13,28
K5	4	2,16	8,64
Celkový součet vážených indexů varianty C:			53,54

Tab. 5-10 Vyhodnocení varianty C



Graf 5-1 Výsledky hodnotové analýzy

5.1 Závěr hodnotové analýzy

Pomocí hodnotové analýzy byla jako optimální vyhodnocena varianta A, která získala 85,84 bodů. Tato varianta je podrobně rozpracována v následující kapitole.

6 Konstrukce manipulační tyče

Tato kapitola se zabývá rozpracováním optimální varianty. V úvodu je popsána celková koncepce manipulační tyče a dále pak v jednotlivých podkapitolách dílčí části.

Nosným prvkem je teleskopická tyč, která se skládá ze dvou částí – těla a části výsuvné. U operátora je umístěn box, který pojme akumulátor spolu s potřebnou elektronikou a současně působí jako protizávaží vůči objektu manipulace. Box se skládá ze dvou plastových skořepin spojenými čtyřmi vruty a je asymetricky tvarován kvůli předloketní opěrce. Na jeho svrchní straně je umístěno tlačítko pro zapnutí/vypnutí, které má zabudovanou indikační LED. Na levém boku se nachází otočný regulátor požadované síly úchopu pro daný objekt manipulace. Umístění bylo zvoleno kvůli dobré dostupnosti během manipulace. Zdířka pro připojení nabíjecího zařízení je umístěna na zadní straně. Předloketní opěrka je stavitelná do tří poloh z důvodu rozdílné délky předloktí. Nastavení požadované polohy se provádí zatažením za kolík, čímž dojde ke stlačení pružiny a jeho vysunutí z otvoru v těle tyče. Součástí opěrky je stahovací popruh, který zajišťuje spojení s rukou operátora.



Obr. 6-1 Manipulační tyč

Rukojeť je tvořena dvěma skořepinami, do kterých jsou vsazeny spínače pro ovládání efektoru a LED osvětlení. Pomocí objímky je spojena s tělem tyče. Pro rotaci efektoru slouží kolébkový spínač bez aretace v krajních polohách, pro úchop/rozevření čelistí a ovládání LED svítily dvojice tlačítkových spínačů s aretací. Systém vysouvání je svěrným spojem přichycen na těle tyče a nastavení požadované délky se provádí stisknutím páčky, která vysune zajišťovací kolík z otvoru ve výsuvné části tyče. Pod páčkou je umístěna zkrutná pružina, která vrátí páčku spolu s kolíkem do původní polohy. Aby nedocházelo k nadměrnému zatěžování kolíku, tyč disponuje vedením, které brání rotaci okolo své osy. Délka kroku vysunutí je 75 mm a na tyči je 7 stavitelných poloh. Dvoučelistový efektor je řešen jako paralelogram, čímž je zajištěna rovnoběžnost uchopovacích ploch. Nosný díl umožňuje nastavení sklonu efektoru. Zajištění požadované polohy se realizuje tvarovým stykem a svěrným spojem. K sevření slouží rukou utahovatelná matice. Celková hmotnost manipulační tyče činí 2,3 kg.



Obr. 6-2 Figurant

Stav	Sklon efektoru	Celková délka
Plně složený stav	Vertikální	1220 mm
	Horizontální	1405 mm
Plně vysunutý stav	Vertikální	1672 mm
	Horizontální	1860 mm

Tab. 6-1 Délkové parametry manipulační tyče

6.1 Použité materiály

Teleskopická tyč

Při návrhu bylo vybíráno ze dvou materiálů. Prvním materiálem, který připadal v úvahu, byl kompozit z uhlíkových vláken pro jeho dobré pevnostní i hmotnostní parametry. Jeho nevýhody jsou špatná dostupnost a finanční náročnost. Druhým materiálem je hliníková slitina EN AW6063 T6, která splňuje jak hmotnostní a pevnostní požadavky, tak je i dobře dostupná a v porovnání s uhlíkovým kompozitem méně finančně náročná. Parametry obou materiálů jsou uvedeny v Tab. 6-2. Nutnými úpravami jsou děrování a tvarování vedení. Zvolená slitina je dobře obrobitelná a vhodná k eloxování, díky tomu lze zaručit atraktivní vzhled teleskopické tyče. Tento materiál je použit i pro výrobu dalších komponentů [13, 14, 15].

	Uhlíková vlákna	EN AW6063 T6
Hustota	1800 kg/m ³	2700 kg/m ³
Pevnost v tahu	3000 MPa	Min. 200 MPa
Modul pružnosti v tahu	500 GPa	68,9 GPa

Tab. 6-2 Parametry materiálů [13,14,15]

Plastové komponenty

V případě realizace prototypu by byla na výrobu plastových komponentů použita technologie rapid prototyping, která je k dispozici na katedře robototechniky. Technologie využívá jako stavební materiál polykarbonát (PC) a umožňuje výrobu i tvarově složitých dílů. Parametry PC jsou uvedeny v Tab. 6-3. Objem plastových komponentů a byl spočítán pomocí softwaru PTC Creo Parametric činí 908 cm³. Z důvodu komplikovaného výpočtu ceny, který se odvíjí od tvarové složitosti dílu, nejsou výrobní náklady na plastové komponenty zahrnuty v ekonomickém zhodnocení [16, 17].

Parametr	Hodnota
Hustota	1200 – 1220 kg/m ³
Pevnost v tahu	68 MPa
Modul pružnosti v tahu	2280 MPa

Tab. 6-3 Parametry polykarbonátu [16, 17]

6.2 Elektronika a řízení

Spínače

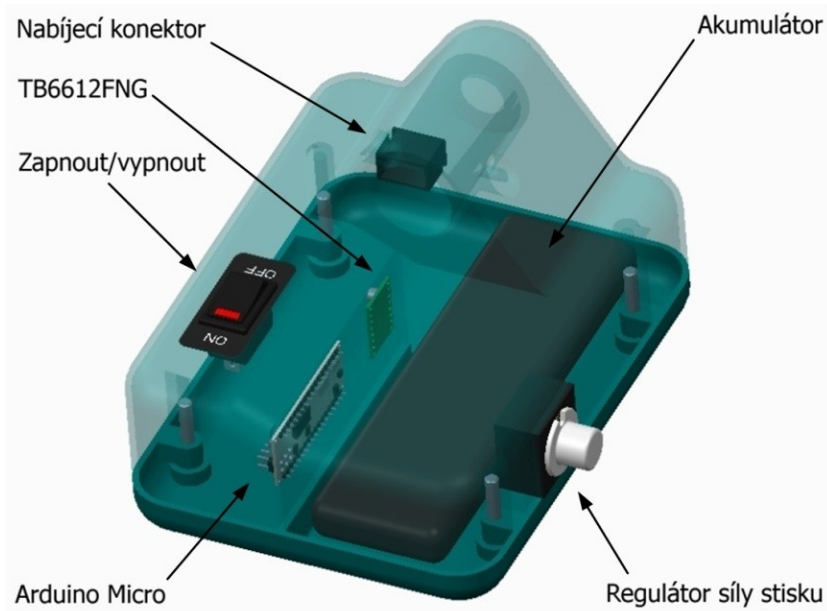
V rukojeti jsou vsazeny tři spínače. Pro ovládání rotace byl zvolen kolébkový spínač bez aretace v sepnutých polohách, aby bylo zaručeno pohodlné ovládání. Pro úchop/rozevření čelistí byl zvolen tlačítkový spínač s aretací. V případě sepnutí dojde k sevření čelistí, v opačném případě k jejich rozevření. Stejný spínač je použit pro ovládání LED osvětlení.



Obr. 6-3 Ovládací panel

Na svrchní straně boxu je umístěn kolébkový spínač pro zapnutí/vypnutí, který má zabudovanou indikační LED. Pro otočný regulátor požadované síly úchopu nebyl nalezen vhodný spínač, jeho řešení v 3D modelu slouží pouze pro názornost. Regulaci síly zajišťuje potenciometr. K montáži použitých spínačů není potřeba spojovací materiál.

Všechny spínače jsou dostupné v GES-ELECTRONICS, a.s. a jejich cena je uvedena v podkapitole 6.4 [29, 30, 31, 32].



Obr. 6-4 Box s elektronikou

Pohony

Pohyby efektoru zajišťují dva pohony. Jejich návrh je uveden v kapitole 7. Prvním pohonem, který je použit pro úchop/rozevření čelistí, je motor Pololu řady Metal s převodovkou. Jedná se o stejnosměrný 6V motor. Pro rotaci efektoru je použit modelářský digitální servomotor Spektrum A6110. Modelářské servo je složeno ze tří částí, kterými jsou stejnosměrný motor, převodovka a řídicí elektronika, ve které se digitální servo liší od analogového. Digitální servo obsahuje procesor, díky kterému je lépe přizpůsobitelné účelu, zatímco analogové obvod, který řídí motor podle šířky signálu a polohy potenciometru. Napájecí napětí se pohybuje v rozsahu 4,8-6V. Rozsah natočení výstupní hřídele je omezen a pohybuje se v rozmezí 180°, což je pro dané použití plně dostačující. V současné době jsou více rozšířená analogová serva. Výhodou digitálních je vyšší přesnost, ze které vyplývá také vyšší cena. Servomotor Spektrum A6110 byl zvolen z důvodu napájecího napětí, které činí 6-7,4V, čímž se stává použitelným spolu se zvoleným akumulátorem. Při volbě servomotoru

s běžným rozsahem napájecího napětí by hrozilo jeho poškození. Technické parametry použitých motorů jsou uvedeny v Tab. 6-4 a 6-5 [19, 22, 27, 28].



Obr. 6-5 Pololu Metal [22]



Obr. 6-6 Spektrum A6110 [39]

Parametr	Hodnota
Doporučené napájecí napětí	6V
Rozsah napájecího napětí	3-9V
Krouticí moment	2,1 N.m (6V, 0 ot/min)
Převodový poměr	499:1
Otáčky bez zatížení	12 ot/min (6V)
Odběr bez zatížení	80 mA (6V)
Odběr při 0 ot/min	2,2 A (6V)
Průměr hřídele	4 mm
Rozměry	Ø 25x58 mm
Hmotnost	94 g
Cena	574 CZK

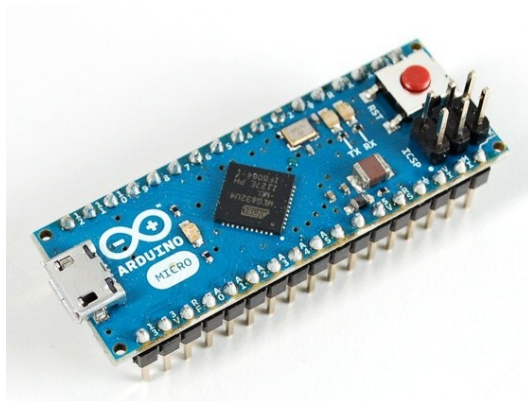
Tab. 6-4 Technické parametry Pololu Metal [19, 22]

Parametr	Hodnota
Napájecí napětí	6–7,4V
Rychlost	0,2 s/60° (6V), 0,14 s/60° (7,4V)
Krouticí moment	4,1 kg.cm (6V), 5,5 kg.cm (7,4V)
Materiál převodů	Nylon
Ložiska	BB1
Rozměry	38,3x18,4x36,6 mm
Hmotnost	36,5 g
Cena	610 CZK

Tab. 6-5 Technické parametry Spektrum A6110 [28]

Arduino Micro

K řízení procesů je použita open-source platforma Arduino a mikropočítačová vývojová deska Arduino Micro s procesorem ATmega32U4. Pro připojení k PC slouží micro USB konektor. Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 6-6 [18, 20].



Obr. 6-7 Arduino Micro [40]

Parametr	Hodnota
Doporučené vstupní napětí	7-12V
Rozsah vstupního napětí	6-20V
Digitální vstupy/výstupy	20
PWM výstupy	7
Analogové vstupy	12
Paměť Flash	32 kB, z toho 4 kB využívá bootloader
SRAM	2,5 kB
EEPROM	1 kB
Frekvence jádra	16 MHz
Cena	696 CZK

Tab. 6-6 Technické parametry Arduino Micro [18, 20]

Toshiba TB6612FNG

Pro řízení motorů je použit dvojitý můstek TB6612FNG, který umožňuje nezávisle ovládat dva obousměrné DC motory, anebo jeden bipolární krokový motor. Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 6-7 [21, 23].



Obr. 6-8 Toshiba TB6612FNG [21]

Parametr	Hodnota
Doporučené napětí pro motory	4,5-13,5V
Napětí pro logické obvody	2,7-5,5V
Max. výstupní proud	3 A na kanál
Nepřetržitý výstupní proud	1 A na kanál
Max. PWM frekvence	100 kHz
Cena	243 CZK

Tab. 6-7 Technické parametry Toshiba TB6612FNG [21, 23]

Akumulátor a nabíjecí zařízení

Výběru zdroje napájení je potřeba věnovat velkou pozornost, neboť ovlivňuje jak výdrž, tak i uživatelskou přívětivost celého zařízení. Hlavními kritérii pro výběr jsou velikost napětí, kapacita, vybíjecí proud, rozměry a hmotnost. Při výběru bylo rozhodováno mezi třemi typy – nabíjecí AA články, akumulátory pro fotoaparáty a kamery, akumulátory používané pro RC modely. Výhodou AA článků je dobrá dostupnost, cena, kapacita a rozšířenost nabíjecích zařízení, které by nemuselo být dodáváno spolu s manipulační tyčí. Nevýhodou je potřebný počet, aby bylo dosaženo požadovaného napětí a nutnost vyjmutí při nabíjení. Pro akumulátory používané pro napájení fotoaparátů hovoří rozměry a velikost napětí. Hlavní nevýhodou je jejich cena v případě koupě originálu, kapacita a nutnost dodávání spolu s nabíjecím zařízením.



Obr. 6-9 AA článek Sanyo [41]



Obr. 6-10 Akumulátor Canon [42]

Jako zdroj napájení byl vybrán lithium-polymerový akumulátor Turnigy používaný především v RC modelech. Li-Pol akumulátory jsou dnes běžně používány v osobních elektronických zařízeních. Mezi příznivé vlastnosti patří poměr hmotnosti a kapacity, minimální samovybití, absence paměťového efektu a cenová dostupnost. Jsou však náchylné na teplotu – teplota pod bodem mrazu zkracuje výdrž, a musí být správně nabíjeny, jinak dojde ke snížení počtu nabíjecích cyklů. Jmenovité napětí jednoho článku je 3,7V. Nabíjecí proud je uveden v dokumentaci akumulátoru. Konektor pro připojení nabíjecího zařízení je vyveden na zadní straně boxu. Technické údaje vybraného akumulátoru jsou specifikovány v Tab. 6-8 [24, 26].



Obr. 6-11 Turnigy nano-tech [24]

Parametr	Hodnota
Kapacita	3300mAh
Počet článků/napětí	2S/7,4V
Stálý vybíjecí proud	25C (50C krátkodobě)
Hmotnost	183 g
Rozměry	145x44x14 mm
Cena	480 CZK

Tab. 6-8 Technické parametry Turnigy nano-tech [24]

Pro příklad bylo vybráno nabíjecí zařízení Accucel 6 od stejného výrobce. Zařízení disponuje balancérem, který vyrovnává napětí na jednotlivých článcích a je pro nabíjení Li-Pol akumulátorů nezbytný. Zvolená nabíječka umožňuje nabíjet až šest článků najednou a LCD display poskytuje informace o stavu nabíjení. Skrze adaptér je napájena ze sítě. Technické parametry jsou uvedeny v Tab. 6-9 [25].



Obr. 6-12 Turnigy Accucel 6 [25]

Parametr	Hodnota
Vstupní napětí	11-17V
Nabíjecí proud	0,1-6A
Hmotnost	355 g
Cena	946 CZK

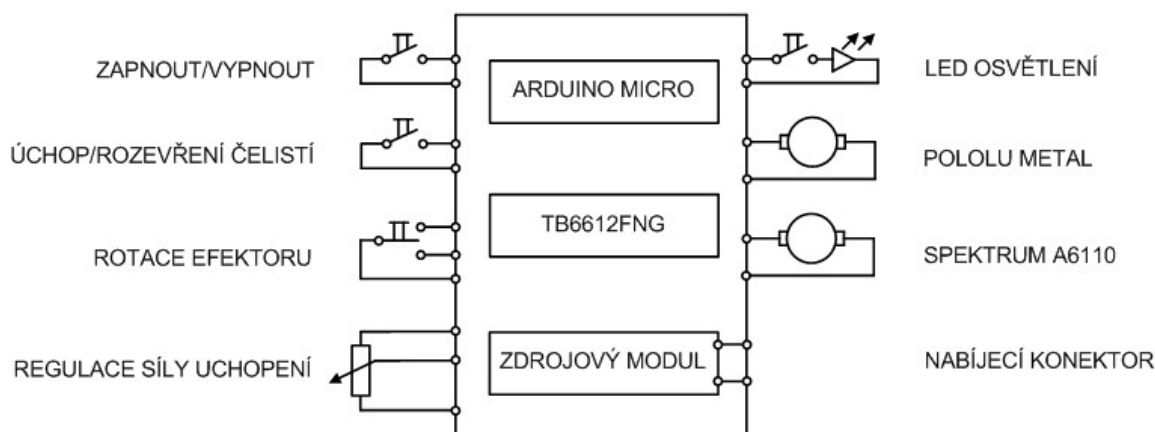
Tab. 6-9 Technické parametry Turnigy Accucel 6 [25]

LED osvětlení

Svítilna je tvořena dvěma superjasnými LED s bílou barvou světla a je zasazena do krytování efektoru. Pro osvětlení co největšího prostoru, byla zvolena dioda s úhlem vyzařování 80°. Udávaná svítivost je 3500-5200mcd při odběru proudu 20mA, napájecí napětí je 3,3V. LED je dostupná v GES-ELECTRONICS, a.s. a její cena je uvedena v podkapitole 6.4 [32].

Blokové schéma řídicích obvodů

Navržené blokové schéma slouží pro názornost zapojení všech použitých komponentů.



Obr. 6-13 Blokové schéma

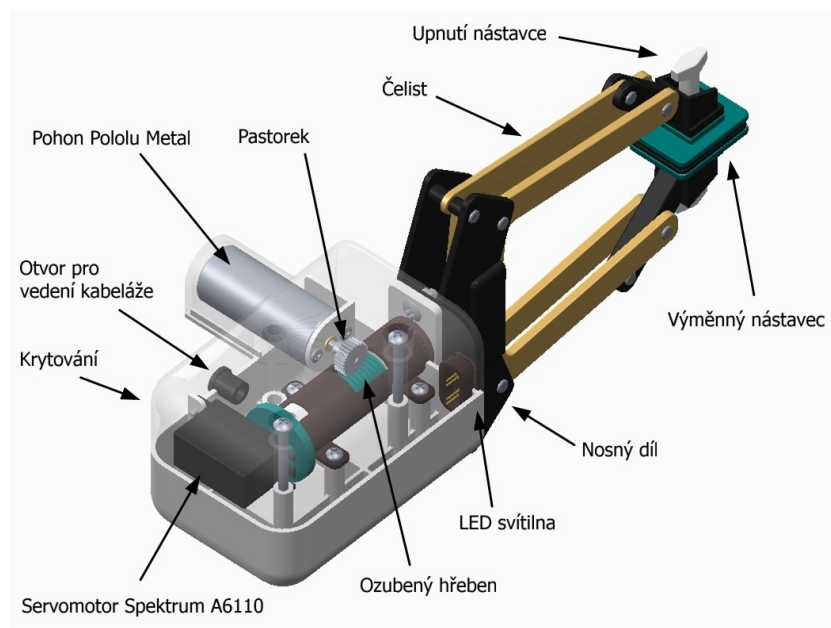
6.3 Efektor

Efektor je výkonný subsystém a slouží k realizaci požadované úlohy, v tomto případě k manipulaci s menšími předměty různého tvaru. Základní požadavky, na které je třeba dbát při návrhu, jsou minimalizace hmotnosti a vnějších rozměrů, provozní bezpečnost a spolehlivost a vyvození dostatečné uchopovací síly, aby nedošlo k uvolnění drženého předmětu. Inspirace byla čerpána z řešení efektoru manipulační tyče Allen-Vanguard TM600. Požadavky kladené na efektor, který je předmětem návrhu, vyplývají z analýzy objektů manipulace v kapitole 2 a jsou shrnuty níže.

Požadavky kladené na efektor

- Rozsah použitelnosti – univerzální, přizpůsobitelné
- Pohyby efektoru – úchop/rozevření čelistí, rotace
- Pohony – elektromotory
- Druh kontaktu – silový, tvarový

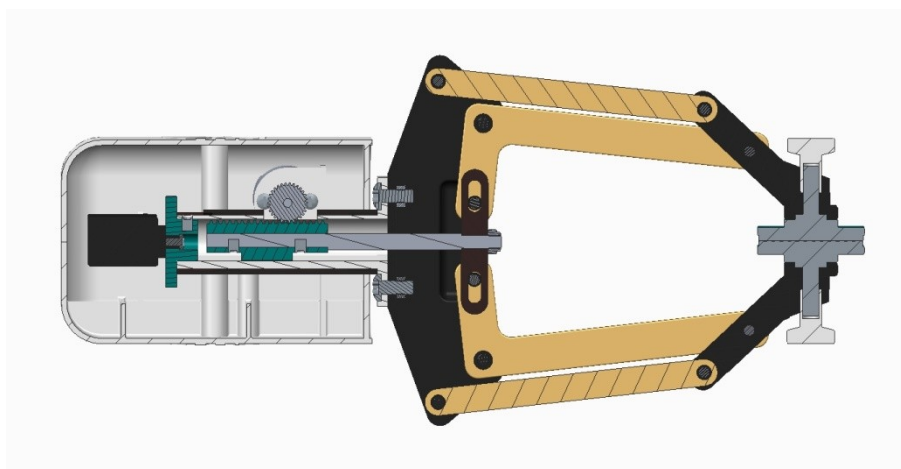
Na základě těchto požadavků byl navržen dvoučelistový efektor s paralelogramem, který zajišťuje rovnoběžnost uchopovacích ploch. Každá čelist se skládá ze tří dílčích částí, které jsou připojeny k nosnému dílu a dílu, který nese výměnné nástavce, pomocí čepů, kluzných pouzder a pojistných třmenových kroužků. Úchop a rozevření jsou realizovány pomocí táhla, na které je připevněn ozubený hřeben. Pro tento pohyb byl vybrán motor Pololu řady Metal. Pro přenos krouticího momentu z převodovky na hřeben slouží pastorek používány v RC modelech. Táhllo spolu s hřebem jsou uloženy v lineárním vedení, které zajišťuje správný směr pohybu. Toto vedení je dále uloženo pomocí dvojice kluzných ložisek ve válci a připojeno k servomotoru. Otvor na straně slouží pro kontakt pastorku s hřebem, jehož tvarování umožňuje rotaci i při záběru. Pro zajištění pozice jednotlivých dílů a jejich ochranu, slouží plastové krytování tvořeno dvěma skořepinami. Dále je v něm uložena svítlna tvořená dvojicí LED. V zadní části je umístěn otvor pro vedení kabeláže. Skrze krytování vede osa, díky které je celý efektor připojen k nosné vidlici. Sklon efektoru je zajištěn tvarovým stykem a sevřením krytování vidlicí pomocí rukou utahovatelné matice. Parametry efektoru jsou uvedeny v Tab. 6-10.



Obr. 6-14 Efektor

Parametr	Hodnota
Maximální uchopovací síla	95 N
Hmotnost	832 g
Posuv táhla	22,5 mm
Rozevření čelistí bez nástavců	163 mm
Rozsah rotace	$\pm 90^\circ$
Rozměry při sevření naprázdno	Délka 300 mm, šířka 139 mm
Rozměry při maximálním rozevření	Délka 279 mm, šířka 252 mm

Tab. 6-10 Parametry efektoru



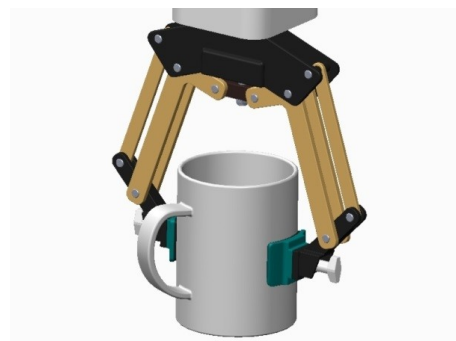
Obr. 6-15 Řez efektozem

Výměnné nástavce

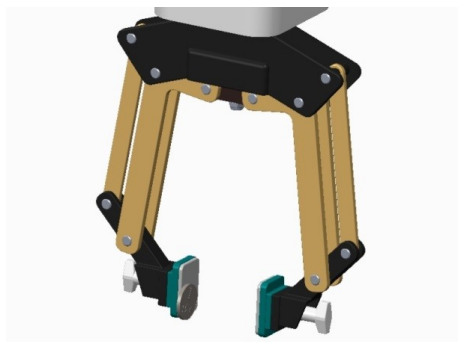
Spolu s manipulační tyčí budou dodávány čtyři typy výměnných nástavců, které jsou přizpůsobeny pro objekty různých tvarů a vlastností. Systém výměny umožňuje rychlé upnutí a natáčení ploch o 90°. Na Obr. 6-16 je znázorněn nástavec pro úchop rovinných ploch, na Obr. 6-17 pro plochy válcové. Na výrobu vrstvy, která je v kontaktu s předmětem, je použit materiál, ze kterého jsou vyrobeny nanopodložky. Tento materiál je znám svou vysokou přilnavostí a spolu s dostatečnou silou stisku zaručí pevné uchopení předmětu. Nástavec na Obr. 6-18 má zabudovaný magnet pro manipulaci s feromagnetickými objekty. Pro magnet musel být použit samostatný nástavec, aby v případě manipulace s elektronikou nedošlo k jejímu poškození. Pro manipulaci s křehkými a snadno poškoditelnými předměty slouží nástavec na Obr. 6-19. Dotykové vrstvy jsou vyrobeny z pěnového materiálu, např. dobře dostupného polyetylenu. Díky snadné deformaci pěny se plocha dotyku přizpůsobí konkrétnímu tvaru. Níže jsou prezentovány způsoby uchopení.



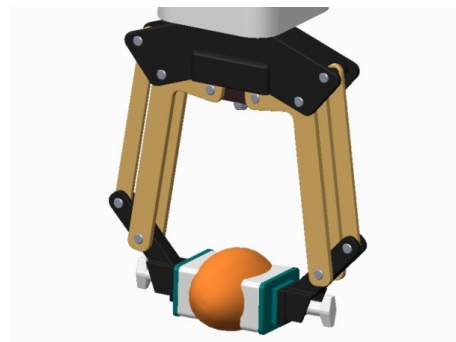
Obr. 6-16 Úchop pera



Obr. 6-17 Úchop hrnku



Obr. 6-18 Úchop mince



Obr. 6-19 Úchop vejce

6.4 Ekonomické zhodnocení

Celkový odhad ceny bez nákladů na výrobu plastových komponentů činí 7242 CZK. Všechny vybrané komponenty jsou dostupné v České republice. Konečnou cenu by bylo možné minimalizovat počtem vyrobených kusů, zjednodušením řídicích obvodů, volbou jiného nabíjecího zařízení a nákupem dílů ze zahraničí, kde jsou o poznání levnější. Jejich cena by však mohla narůst při platbě DPH a cla. Níže uvedená tabulka dává přehled o přibližných nákladech na výrobu manipulační tyče.

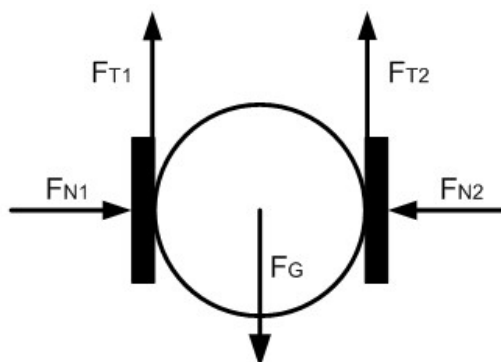
Položka	Počet	Cena
Trubky včetně úprav	-	1500 CZK
Spínač kolébkový WSB 2600WM	1 ks	70 CZK
Spínač tlačítkový PB 02AKB	2 ks	40 CZK
LED L-53SWC-E/WA*G	2 ks	44 CZK
Arduino Micro	1 ks	696 CZK
Toshiba TB6612FNG	1 ks	243 CZK
Akumulátor Turnigy nano-tech	1 ks	480 CZK
Nabíječka Turnigy Accucel 6	1 ks	946 CZK
Síťový adaptér 12V 5A	1 ks	339 CZK
Pohon Pololu Metal 499:1	1 ks	574 CZK
Servomotor Spektrum A6110	1 ks	610 CZK
Nanopodložka	1 ks	50 CZK
Pěnový materiál	-	50 CZK
Spojovací materiál	-	300 CZK
Kabeláž a konektory	-	300 CZK
Montáž a programování	-	1000 CZK
Celkový odhad ceny		7242 CZK

Tab. 6-11 Ekonomické zhodnocení

7 Výpočty

7.1 Stanovení potřebné uchopovací síly

Ke stanovení velikosti uchopovací síly je nutné vyšetřit nejnepříznivější zatížení objektu manipulace (dále jen OM). Jako kritická byla stanovena situace, kdy držení OM zajišťuje pouze třecí síla. Pro výpočet bylo zvoleno těleso tvaru koule držené plochými nástavci, viz Obr. 7-1. Při výpočtu potřebné uchopovací síly byly zanedbány dynamické účinky působící na objekt manipulace při pohybu manipulační tyče. Tyto účinky jsou zohledněny při stanovení bezpečnostního koeficientu. Orientační hodnoty dílčích koeficientů bezpečnosti byly čerpány z [3] a přizpůsobeny pro řešenou situaci.



Obr. 7-1 Síly působící na OM

Dílčí koeficient	Název	Význam	Hodnota
k_1	Hmotnostní koeficient	Bezpečná funkce při 120 % max. nosnosti	1,2
k_2	Způsob uchopení	Dvoustranné	1,3
k_3	Stav povrchu	Univerzální použití	1,1
k_4	Dynamické účinky	Síly působící na OM při pohybu man. tyče	1,1

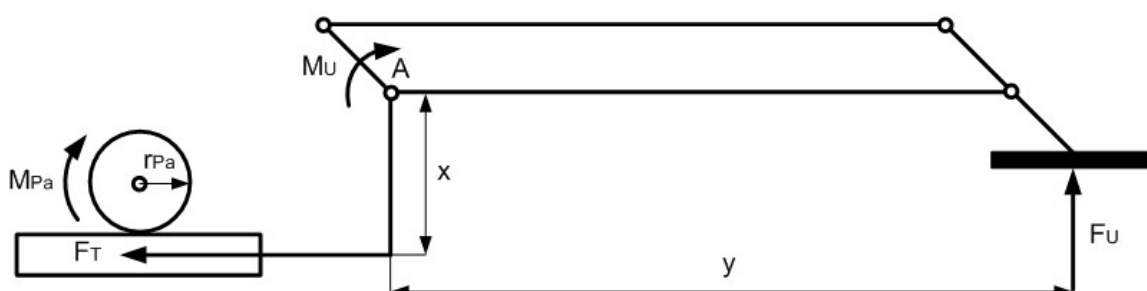
Tab. 7-1 Dílčí bezpečnostní koeficienty [3]

Dáno, voleno	Výpočet	Výsledek
$m_{OM} = 1 \text{ kg}$ $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	$F_G = m_{OM} \cdot g$ $F_G = 1 \cdot 9,81$	Tíhová síla $F_G = 9,81 \text{ N}$
$F_{T1} = F_{T2}$ $F_G = 9,81 \text{ N}$	$F_{T1} + F_{T2} - F_G = 0$ $2 \cdot F_{T1} - F_G = 0$ $F_{T1} = \frac{F_G}{2}$ $F_{T1} = \frac{9,81}{2}$	Třecí síla $F_{T1} = F_{T2} = 4,91 \text{ N}$
Součinitel tření volím $f = 0,3$ $F_{T1} = 4,91 \text{ N}$ $F_{N1} = F_{N2}$	$F_{N1} = \frac{F_{T1}}{f}$ $F_{N1} = \frac{4,91}{0,3}$	Normálová síla $F_{N1} = F_{N2} = 16,37 \text{ N}$
$k_1 = 1,2$ $k_2 = 1,3$ $k_3 = 1,1$ $k_4 = 1,1$	$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$ $k = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1$	Bezpečnostní koeficient $k = 1,89$ Volím $k = 2$
$F_{N1} = F_{N2} = 16,37 \text{ N}$ $k = 2$	$F_U = (F_{N1} + F_{N2}) \cdot k$ $F_U = (16,37 + 16,37) \cdot 2$	Uchopovací síla $F_U = 65,48 \text{ N}$

Tab. 7-2 Výpočet uchopovací síly [2, 3]

7.2 Návrh pohonu

Základními požadavky, na které je třeba při volbě pohonu dbát, jsou minimalizace hmotnosti a vnějších rozměrů, ceny a především splnění minimálního výstupního momentu z převodovky, jehož vypočtená hodnota činí 1,44 N.m, viz níže. Těmto požadavkům vyhověl motor Pololu Metal s převodovkou 499:1, jehož výstupní moment činí 2,1 N.m. Parametry pohonu jsou uvedeny v podkapitole 6.2 v Tab. 6-4.



Obr. 7-2 Schéma struktury efektoru

Dáno, voleno	Výpočet	Výsledek
$F_U' = 65,48 \text{ N}$ $x = 0,044 \text{ m}$ $y = 0,123 \text{ m}$	$\sum M_A = 0$ $F_T' \cdot x - F_U' \cdot y = 0$ $F_T' = \frac{F_U' \cdot y}{x}$ $F_T' = \frac{65,48 \cdot 0,123}{0,044}$	Síla v ose táhla $F_T' = 183,05 \text{ N}$
$F_U' = 65,48 \text{ N}$ $x = 0,044 \text{ m}$	$M_U' = \frac{F_U'}{2} \cdot y$ $M_U' = \frac{65,48}{2} \cdot 0,123$	Moment potřebný k uchopení OM $M_U' = 4,02 \text{ N} \cdot \text{m}$

$F_U' = 65,48 \text{ N}$ $F_T' = 183,05 \text{ N}$	$i_F = \frac{F_U'}{F_T'}$ $i_F = \frac{65,48}{183,05}$	Převodový poměr $i_F = 0,36$
$F_T' = 183,05 \text{ N}$ $r_{Pa} = 0,0075 \text{ m}$	$M_{Pa}' = F_T' \cdot r_{Pa}$ $M_{Pa}' = 183,05 \cdot 0,0075$	Moment na pastorku $M_{Pa}' = 1,37 \text{ N} \cdot \text{m}$
$M_{Pa}' = 1,37 \text{ N} \cdot \text{m}$ $\eta_{PaHř} = 0,95$	$M_{Př}' = \frac{M_{Pa}'}{\eta_{PaHř}}$ $M_{Př}' = \frac{1,37}{0,95}$	Výstupní moment z převodovky $M_{Př}' = 1,44 \text{ N} \cdot \text{m}$

Tab. 7-3 Volba pohonu

7.2 Zpětný výpočet parametrů

Po volbě pohonu je potřeba zpětně vypočítat síly a momenty působící v mechanismu a na základě těchto hodnot provést kontrolu namáhaných částí.

Dáno, voleno	Výpočet	Výsledek
$M_{Př} = 2,1 \text{ N} \cdot \text{m}$ $\eta_{PaHř} = 0,95$	$M_{Pa} = M_{Př} \cdot \eta_{PaHř}$ $M_{Pa} = 2,1 \cdot 0,95$	Moment na pastorku $M_{Pa} = 2 \text{ N} \cdot \text{m}$
$M_{Pa} = 2 \text{ N} \cdot \text{m}$ $r_{Pa} = 0,0075 \text{ m}$	$F_T = \frac{M_{Pa}}{r_{Pa}}$ $F_T = \frac{2}{0,0075}$	Síla v ose táhla $F_T = 266,67 \text{ N}$

$F_T = 266,67 \text{ N}$ $x = 0,044 \text{ m}$ $y = 0,123 \text{ m}$	$\sum M_A = 0$ $F_T \cdot x - F_U \cdot y = 0$ $F_U = \frac{F_T \cdot x}{y}$ $F_U = \frac{266,67 \cdot 0,044}{0,123}$	Uchopovací síla $F_U = 95,39 \text{ N}$
$F_U = 95,39 \text{ N}$ $x = 0,044 \text{ m}$	$M_U = \frac{F_U}{2} \cdot y$ $M_U = \frac{95,39}{2} \cdot 0,123$	Moment při uchopení OM $M_U = 5,87 \text{ N} \cdot \text{m}$

Tab. 7-4 Zpětný výpočet parametrů

7.4 Kontrolní výpočet čepu

Pro kontrolu je vybrán čep spojující táhlo s čelistmi. Čep je namáhán na ohyb a na smyk od posouvající síly. Průměr čepu je vypočten z ohybu. Podle vypočtené hodnoty je zvolena větší normalizovaná velikost. Navržený normalizovaný průměr čepu je dále kontrolován na smyk. Čep je vyroben z materiálu 11 373 a dovolená napětí jsou uvedena u výpočtů.

Dáno, voleno	Výpočet	Výsledek
$F_T = 266,67 \text{ N}$	$F_{\check{c}} = \frac{F_T}{2}$ $F_{\check{c}} = \frac{266,67}{2}$	Síla působící na čep $F_{\check{c}} = 133,34 \text{ N}$
$F_{\check{c}} = 133,34 \text{ N}$ $b = 4 \text{ mm}$ $\sigma_{DO} = 70 \text{ MPa}$	$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} = \frac{16 \cdot F_{\check{c}} \cdot b}{\pi \cdot d^3} \leq \sigma_{DO}$ $d' \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot F_{\check{c}} \cdot b}{\pi \cdot \sigma_{DO}}}$	Vypočtený průměr čepu $d' = 3,39 \text{ mm}$ Volím $d = 4 \text{ mm}$

	$d' \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 133,34 \cdot 4}{\pi \cdot 70}}$	
$F_{\zeta} = 133,34 \text{ N}$ $b = 4 \text{ mm}$ $d = 4 \text{ mm}$ $\sigma_{D0} = 70 \text{ MPa}$	$\sigma_0 = \frac{16 \cdot F_{\zeta} \cdot b}{\pi \cdot d^3}$ $\sigma_0 = \frac{16 \cdot 133,34 \cdot 4}{\pi \cdot 4^3}$	Ohybové namáhání $\sigma_0 = 42,44 \text{ MPa}$ $\sigma_0 < \sigma_{D0}$
$F_{\zeta} = 133,34 \text{ N}$ $d = 4 \text{ mm}$ $\tau_D = 50 \text{ MPa}$	$\tau_{\text{MAX}} = \frac{8 \cdot F_{\zeta}}{3 \cdot \pi \cdot d^2}$ $\tau_{\text{MAX}} = \frac{8 \cdot 133,34}{3 \cdot \pi \cdot 4^2}$	Smykové namáhání $\tau_{\text{MAX}} = 7,07 \text{ MPa}$ $\tau_{\text{MAX}} < \tau_D$

Tab. 7-5 Kontrolní výpočet čepu [1, 4]

8 Závěr

Bylo navrženo konstrukční řešení úchopné teleskopické tyče s dvoučelistovým efektořem včetně potřebné elektroniky. Z rešerše dané problematiky byla zjištěna aktuální nabídka ručních prostředků pro manipulaci. Nebylo nalezeno žádné jednoruční provedení s aplikovanými pohony. Pomocí analýzy menších objektů do hmotnosti 1 kg, byly zjištěny požadavky kladené na efektoř. Spolu s efektořem byly navrženy čtyři typy výměnných nástavců. Navržená manipulační tyč váží 2,3 kg a její maximální délka je 1860 mm. Minimální délka činí 1220 mm. Poháněnými pohyby efektořu jsou úchop/rozevření čelistí a rotace v rozsahu $\pm 90^\circ$. Manuálně je možné nastavit požadovaný sklon. Maximální rozevření čelistí bez nástavců je 163 mm, uchopovací sílu lze regulovat a její maximální hodnota je 95 N. Návrh byl částečně ekonomicky zhodnocen a prozatímní odhad činí 7242 CZK. Nebylo možné stanovit odhadované výrobní náklady plastových komponentů, cena se odvíjí od tvarové složitosti dílu.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 4. Vydání. Úvaly: Albra, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. 229 s. ISBN 978-80-248-1522-0
- [3] SKAŘUPA, Jiří; ZELINA, Pavol. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*. 1. Vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 1996. 107 s. ISBN 80-7078-304-4.
- [4] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů – Části spojovací*. [online]
URL: <<http://www.347.vsb.cz/files/kal01/skripta-castispojovaci.pdf>>
[cit. 2013-05-10]
- [5] ČSÚ - *Výsledky výběrového šetření zdravotně postižených osob za rok 2007* [online]
URL: <<http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/p/3309-08>> [cit. 2013-05-10].
- [6] ČSÚ – *Procentuální zastoupení populace ve věku 65 a více let v jednotlivých státech Evropy v roce 2011* [online]
URL: <<http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/seniori>> [cit. 2013-05-10].
- [7] *Katalogový list Allen-Vanguard TM600* [online]
URL: <<https://www.allenvanguard.com/en-us/products/eodieddtools/remotehandling/tm600telescopicmanipulator.aspx>>
[cit. 2013-05-10].
- [8] *Katalogový list Chemring EOD RE 4500 EODM* [online]
URL:< <http://www.chemringeod.com/Download.aspx?ResourceId=14279>>
[cit. 2013-05-10].
- [9] *Katalogový list Force Ware TMS-2* [online]
URL: <<http://www.forceware.de/en/equipment/eod/tools/155/>> [cit. 2013-05-10].

- [10] *Katalogový list PKI Electronic Intelligence* [online]
URL: <<http://www.pki-electronic.com/products/police-customs-and-military-equipment/robotic-telescope-manipulator/>> [cit. 2013-05-10].
- [11] *Katalogový list Hewei* [online]
URL: <<http://www.hewei-group.com/ProductShow.asp?ProductID=174>> [cit. 2013-05-10].
- [12] ŠAJDLEROVÁ, Ivana. *Organizace a řízení – Cvičení 1.* [online]
URL: <http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/skripta%20Oa%C5%98_cv%20I.pdf> [cit. 2013-05-10].
- [13] MIKULA, Martin. *Kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken.* Brno 2012.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 63 s. Vedoucí práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
[online]
URL:
<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/7937/2012_BP_Mikula_Martin_126219.pdf?sequence=1> [cit. 2013-05-10].
- [14] ASM Aerospace Specification Metals – *Aluminium 6063-T6* [online]
URL: <<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T6>> [cit. 2013-05-10].
- [15] Alupa s.r.o. – *Normy, chemické složení, chemické vlastnosti* [online]
URL: <http://www.alupa.cz/download.php?group=download2_soubory&id=4> [cit. 2013-05-10].
- [16] *Polycarbonate* [online]
URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>> [cit. 2013-05-10].
- [17] Katedra robototechniky – *Rapid Prototyping* [online]
URL: <<http://robot.vsb.cz/rapid-prototyping/>> [cit. 2013-05-10].
- [18] Arduino Micro
URL: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMicro>> [cit. 2013-05-10].

- [19] Snail Instruments – *Pololu Metal 499:1*
- URL:
<http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=75_160&products_id=808> [cit. 2013-05-10].
- [20] Snail Instruments – *Arduino Micro*
- URL:
<http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_134&products_id=980> [cit. 2013-05-10].
- [21] Snail Instruments – *TB6612FNG*
- URL:
<http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_69&products_id=700> [cit. 2013-05-10].
- [22] Pololu Robotics & Electronics – *Pololu Metal 499:1*
- URL: < <http://www.pololu.com/catalog/product/1591> > [cit. 2013-05-10].
- [23] Pololu Robotics & Electronics – *TB6612FNG*
- URL: < <http://www.pololu.com/catalog/product/713> > [cit. 2013-05-10].
- [24] RC Modelář – *Turnigy nano-tech 3300mAh*
- URL: < <http://www.rc-modelar.cz/turnigy-nano-tech-li-pol/262-turnigy-nano-tech-3300mah-2s-2550c-.html> > [cit. 2013-05-10].
- [25] RC Modelář – *Turnigy Accucell 6*
- URL: < <http://www.rc-modelar.cz/Nabijec/148-turnigy-accucell-6-50w-6a-nabijec-vybijec-balancer.html> > [cit. 2013-05-10].
- [26] ModelFun – *Jak na Li-Pol baterie*
- URL: < <http://www.modelfun.cz/rcmagazin/li-pol-baterie/> > [cit. 2013-05-10].
- [27] Serva a jejich ovládání – *Digitální nebo analogové?*
- URL: <<http://serva.webnode.cz/news/digitalni-nebo-analogove/>> [cit. 2013-05-10].
- [28] Modelarina – *Servomotor Spektrum A6110*
- URL: < <http://www.modelarina.cz/digitalni-servo-spektrum-a6110-air-highvoltage-digital-p-9600.html> > [cit. 2013-05-10].

- [29] GES ELECTRONICS , a.s. – *WSB 2600WM*
URL: < <http://www.ges.cz/cz/wsb-2600wm-GES06503879.html>>
[cit. 2013-05-10].
- [30] GES ELECTRONICS , a.s. – *PB 02AKB*
URL: < <http://www.ges.cz/cz/pb-02akb-GES06500242.html>> [cit. 2013-05-10].
- [31] GES ELECTRONICS , a.s. – *WSB 2102LD*
URL: < <http://www.ges.cz/cz/wsb-2102ld-GES06500444.html>> [cit. 2013-05-10].
- [32] GES ELECTRONICS , a.s. – *L-53SWC-E/WA*G*
URL: < <http://www.ges.cz/cz/l-53swc-e-wa-g-GES05113974.html>>
[cit. 2013-05-10].
- [33] *Obr. 1-1 Jednočelistové podavače*
URL: < http://www.dmapraha.cz/images/produkty/img/svedske_podavace_1.jpg>
[cit. 2013-05-10].
- [34] *Obr. 1-2 Teleskopický dvoučelistový podavač*
URL: <http://www.ezdravotnicke-potreby.cz/services/image/product/420w960h720mf/132845653707341400.jpg>
[cit. 2013-05-10].
- [35] *Obr. 1-3 Podavač s gumovými přísavkami*
URL: <<http://www.zijtekvalitne.cz/podavace-predmetu/podavac-predmetu-s-duralovou-rukojeti--ruzne-delky/>> [cit. 2013-05-10].
- [36] *Obr. 1-14 Manipulační tyč*
URL:
<http://i01.i.aliimg.com/photo/v1/109605573/telescopic_manipulator_TM_4.jpg>
[cit. 2013-05-10].
- [37] *Obr. 1-15 Manipulační tyč*
URL:
<http://img.alibaba.com/photo/111701955/Telescopic_Manipulator_MAXU_I.jpg>
[cit. 2013-05-10].

- [38] *Obr. 1-16 Manipulační tyč*

URL: < <http://www.army.cz/acr/kfor7/hq/g7/fotky.htm> > [cit. 2013-05-10].

- [39] *Obr. 6-6 Spektrum A6110*

URL:

<[http://s7d5.scene7.com/is/image/horizonhobby/SPMSA6110_a0?\\$pdpLand\\$](http://s7d5.scene7.com/is/image/horizonhobby/SPMSA6110_a0?$pdpLand$)>

[cit. 2013-05-10].

- [40] *Obr. 6-7 Arduino Micro*

URL: <<http://www.adafruit.com/adablog/wp-content/uploads/2012/11/window-364.jpg>> [cit. 2013-05-10].

- [41] *Obr. 6-9 AA článek Sanyo*

URL: <http://farm4.staticflickr.com/3035/3055304125_796858b5f6_z.jpg>

[cit. 2013-05-10].

- [42] *Obr. 6-10 Akumulátor Canon*

URL: <http://pcfoto.biz/Image/0634600_Canon-LP-E6.jpg> [cit. 2013-05-10].

10 Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- Sestavný výkres manipulační tyče
- Podsestavný výkres efektoru
- Výrobní výkresy všech vyráběných částí

Zvláštní příloha CD

- Bakalářská práce (PDF)
- Výkresová dokumentace (AutoCAD)
- 3D model manipulační tyče (PTC Creo Parametric)
- Záznam o závěrečné práci (PDF)

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. Dr. Ing. Vladimíru Mostýnovi za cenné rady a připomínky, panu Ing. Václavu Krysovi, Ph.D. za poskytnuté informace o kalkulaci ceny technologie rapid prototyping. Dále děkuji panům Janu Menzlovi za podnětné připomínky a Bc. Jiřímu Ryšánkovi za sdělené zkušenosti s používáním manipulačních tyčí v pyrotechnice.